中国生态农业学报 2016 年 5 月 第 24 卷 第 5 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, May 2016, 24(5): 660−667

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.151155

西南山地不同林下经济模式对植物多样性的影响*

曾清苹[1] 何丙辉[1**] 秦华军[2] 李 源[3] 吴耀鹏[1] 田艳琴[1]

(1. 西南大学资源环境学院/三峡库区生态环境教育部重点实验室 重庆 400715; 2. 贵州省生物研究所 贵阳 550025; 3. 重庆市涪陵区林业局 重庆 408000)

摘 要 以西南山地桉树林下养禽(T1)、桉树林下养食用菌(T2)、麻竹林下养禽(T3)、麻竹林下养食用菌(T4)、马尾松林下养畜(T5)、黄葛树林下种草(T6) 6 种典型林下经济模式为研究对象, 采用相邻样地比较法对各模式下植物群落的物种重要值(P)、丰富度指数(S)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J_w)、Alatalo 优势度指数(E_a)、相似性指数 Jaccard(C_j)和 Sorenson(C_s)以及多样性阈值(D_v)进行调查分析, 探讨不同林下经济模式对植物多样性的影响。结果表明: T6 模式下植物种类最丰富, 为 11 种; 而 T3 和 T4 模式下植物种类最少, 仅有 2 种。各经济模式均无灌木层, 草本层为群落优势层。空心莲子草是 T1 和 T2 模式的优势种, 重要值分别为 67.16%和 71.00%; 桑树是 T3 和 T4 的优势种, 重要值高达 74. 91%和 72.82%; T5 和 T6 优势种分别是竹叶草(54.10%)和牛鞭草(59.51%)。在不同林下经济模式中, 植物丰富度指数(S)依次为 T6>T1>T5=T2>T3=T4, 多样性指数 H'呈 T6>T1>T5>T2>T4>T3, 均匀度 J_w 呈 T5>T6>T2>T1>T4>T3, 优势度指数 E_a 呈 T5>T4>T3>T2>T1>T6。林下经济模式与相应的纯林对照物种组成相似性指数, 以 T3 和 T4 最高, C_j和 C_s均为 1.0; 其次是 T6, C_j和 C_s分别为 0.44 和 0.62; T1 最小, C_j和 C_s分别为 0.15 和 0.27。植物多样性阈值评价结果显示, T6 模式植物多样性阈值最高, 属于多样性较好类型; 而 T3 和 T4 模式多样性阈值最低, 属于一般类型。林下种养殖改变了植物群落的物种组成, 且不同种养殖方式影响结果不同, 其中以林草模式影响最小, 为林地干扰下植物群落最丰富的模式。

关键词 西南山地 林下经济模式 植物群落 重要值 植物多样性 物种多样性阈值
中图分类号: S718.54 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2016)05-0660-08

Influence of different typical under-forest economy modes on the plant community diversity in China's Southwest Mountains*

ZENG Qingping[1], HE Binghui[1**], QIN Huajun[2], LI Yuan[3], WU Yaopeng[1], TIAN Yanqin[1]

(1. College of Resources and Environment, Southwest University / Key Laboratory of Three Gorges Region Eco-Environments, Ministry of Education, Chongqing 400715, China; 2. Guizhou Institute of Biology, Guiyang 550025, China; 3. Forestry Administration of Fuling, Chongqing 408000, China)

Abstract Ecological problems arising from under-forest economy have gained a wide recognition in recent years. With the development of under-forest economy, understory farming has become more sophisticated, and ecological environments under forests have also become more stable in Rongchang region of Chongqing. The adjacent-sample comparison method was used to study the effects of six different typical under-forest economy modes on importance value (P), species richness index (S),

* 国家林业局公益性行业(林业)科研专项(201104043)、重庆市科技攻关重点项目(CSTC2009AB1115)、西南大学青年基金项目(SWU208048)和西南大学生态学重点学科"211 工程"三期建设项目资助
** 通讯作者: 何丙辉, 主要从事水土保持和林学研究。E-mail: hebinghui@swu.edu.cn
曾清苹, 主要从事经济林培育与林业生物技术研究。E-mail: 709904956@qq.com
收稿日期: 2015−10−26 接受日期: 2015−12−07
* The study was supported by the State Forestry Administration Public Welfare Industry Special (Forestry) Research Project (No. 201104043), Key Science and Technology Program of Chongqing City (No. CSTC2009AB1115), Science Foundation for Youths of Southwest University (No. SWU208048), and the Third Stage Project of "211 Project" of Southwest University Ecological Key Disciplines.
** Corresponding author, E-mail: hebinghui@swu.edu.cn
Received Oct. 26, 2015; accepted Dec. 7, 2015

Shannon-Wiener diversity (H'), Pielou's evenness index (J_w), Alatalo dominance index (E_a), Jaccard similarity index (C_j), Sorenson similarity index (C_s) and plant species diversity threshold (D_v) in China's Southwest Mountains from August to September in 2012. The investigated six under-forest economy modes were poultry feeding in *Eucalyptus robusta* forest (T1), fungi cultivation in *E. robusta* forest (T2), poultry feeding in *Dendrocalamus latiflorus* forest (T3), fungi cultivation in *D. latiflorus* forest (T4), livestock feeding in *Pinus massoniana* forest (T5) and grass cultivation in *Ficus lacor* forest (T6), and with the corresponding pure forests as the controls. The results showed that among six under-forest economy modes, the highest species richness index (11) was observed in T6 and the lowest species richness index (2) was occurred in both T3 and T4. Herb layer was the most dominant layer for all the six under-forest economy modes, and no shrub layer was found. The highest importance values were of *Alternanthera philoxeroides* in T1 (67.16%) and T2 (71.00%), *Morus alba* in T3 (74. 91%) and T4 (72.82%), and *Oplismenus compositus* in T5 (54.10%), and *Hemarthria altissima* in T6 (59.51%). For six under-forest economy modes, the species richness index was in the order of T6 > T1 > T5 = T2 > T3 = T4, the Shannon-Wiener diversity was T6 > T1 > T5 > T2 > T4 > T3, the Pielou's evenness index was T5 > T6 > T2 > T1 > T4 > T3, and Alatalo dominance index was T5 > T4 > T3 > T2 > T1 > T6. Based on the analysis of similarity of species composition, T3 and T4 had the highest similarity indexes with their corresponding pure forests, 1.0 of both C_j and C_s, followed by T6 with 0.44 C_j and 0.62 C_s, respectively. The minimum C_j (0.15) and C_s (0.27) were those of T1 with its pure forest. Based the evaluation of plant diversity threshold under different under-forest economy modes, T6 had the highest threshold with a better diversity. Then the lowest threshold was for T3 and T4. Understory farming altered species composition of plant community, and different farming methods had different results. Grass cultivation under forest had the least effect and also was the most abundant species above all inquisitional modes.

Keywords　Southwest Mountain; Under-forest economy mode; Plant community; Importance value; Species diversity; Species diversity threshold

林下经济以现有林地资源和森林生态环境为依托，充分利用林荫优势，开展林下农、林、牧等多种项目的复合式立体经营，是一种传统的土地利用方式，对解决山区经济发展起重要作用，成为当前我国林业发展过程中备受重视的经济模式[1−2]。植物多样性是衡量生态系统结构和稳定性的指标[3]，是生态系统持续发展和生产力的核心，是人类赖以生存的条件，是社会经济持续发展的基础[4]。近年来，集体林权制度改革推动了各地发展林下经济的新热潮，林下经济呈现多元化发展模式。然而林下经济的过度发展也会加速水土流失，导致林地植物多样性下降，进而使林地生态系统保护功能下降，稳定性受威胁[5]。不同的林地经营模式往往产生不同的林下群落结构和植物多样性[6−7]。邬枭楠等[8]、尹锴等[9]的研究均表明人为干扰降低了植物多样性，而于立忠等[10]、谢伟东等[11]的研究则表明适度的人为干扰会增加植物多样性。目前已有关于林下经济模式对土壤理化性质[12]、土壤微生物[13]、土壤酶活性[14]等相关研究，但对植物多样性影响的相关研究较少，特别是关于我国山区不同林下经济模式对植物多样性影响的研究鲜有报道。

生态学上常用群落丰富度指数、多样性指数、均匀度指数以及优势度指数反映植物多样性，体现了群落的结构类型、组织水平、发展阶段、生境差异和稳定程度[15]。物种多样性是群落组织结构的重要特征，不仅反映群落组成中物种的丰富程度，也反映群落稳定性与动态。近几年来重庆市荣昌县林下经济发展比较成熟，林下生态已渐渐稳定。本文选取西南地区重庆市荣昌县为研究地点，以山地 6 种典型的林下经济模式为研究对象，考察其植物多样性，研究结果对该区域的生态农业建设和土地合理利用有一定的参考意义。

1　研究区域概况与研究方法

1.1　研究区域概况

荣昌县地处川东平行岭谷交接地带，重庆市西部。地形以丘陵和平坝宽谷为主，土地肥沃，地势起伏平缓，平均海拔 380 m。属中亚热带湿润季风气候，年平均降水量 1 099 mm，年平均气温 17.8 ℃，无霜期 327 d，月极端最高温度 39.9 ℃，月极端最低温度 −3.4 ℃(1975 年)。该地区主要林分类型有：马尾松(*Pinus massoniana*)林、麻竹(*Dendrocalamus latiflorus*)林、桉树(*Eucalyptus robusta*)林、黄葛树(*Ficus lacor*)林等。

1.2　研究方法

2012 年 8—9 月，采用相邻样地比较法，在重庆市荣昌县境内，选择土壤类型相同、地形相似、利用类型不同的林地进行调查研究。在各林分中分别设置 3 个 20 m×20 m 标准地用来调查林地乔木的生长量。在每个标准地范围内沿“S”型路线设置 5 个

5 m×5 m 灌木和 5 个 1 m×1 m 草本小样方进行林下植被调查；其中植被调查内容包括乔木树高、胸径、枝下高、郁闭度、株行距，灌木种类、盖度、高度，草本种类、盖度、高度。利用 GPS 和海拔表测定样方的地理坐标和海拔高度；用罗盘测定样方的坡向、坡度见表 1。所调查的林下经济模式均从 2009 年开始实施，分别为：位于古昌镇冲锋村的桉树林下养禽模式(T1)，养殖鸡，养殖密度 900 只·hm^{-2}，散养；位于路孔镇的桉树林下养食用菌模式(T2)，种植平菇，种植面积 30%，林间仿野生栽培；位于双河街道岚峰社区的麻竹林下养禽模式(T3)，养殖鸡，养殖密度 900 只·hm^{-2}，散养；位于峰高街道五马村的麻竹林下种菌模式(T4)，种植平菇，种植面积 30%，林间仿野生栽培；位于盘龙镇的马尾松林下养畜模式(T5)，养殖野猪，养殖密度 675 只·hm^{-2}，散养；位于远觉镇复兴社区的黄葛树林下种草模式(T6)。由于树种影响，每种林分下土壤的结构和养分均有一定差异，所以每个模式各选取 1 个空白林地作为对照。

表 1　不同林下经济模式林地特征及样地基本概况

Table 1　Forest and plot characteristics of different under-forest economy modes

指标 Index	林下经济模式 Under-forest economy mode											
	T1	T1-CK	T2	T2-CK	T3	T3-CK	T4	T4-CK	T5	T5-CK	T6	T6-CK
土壤 Soil	SL	SL	ML	ML	SL	SL	LL	LL	ML	ML	ML	ML
坡向 Slope aspect	N	N	NW	NW	N	N	NW	NW	NW	NW	N	N
林龄 Stand age (a)	3	3	2	2	3	3	3	3	15	15	2	2
坡位 Slope position	坡上 Up	坡上 Up	坡中 Middle	坡中 Middle	坡中 Middle	坡中 Middle	坡下 Under	坡下 Under	坡上 Up	坡上 Up	坡下 Under	坡下 Under
海拔 Altitude (m)	486	486	395	395	436	436	451	451	469	469	433	433
坡度 Slope degree (°)	6	6	0	0	8	8	13	13	16	16	0	0
乔木株行距 Tree planting spacing (m)	4×5	4×5	4×5	4×5	5×6	5×6	5×6	5×6	3×4	3×4	4×8	4×8
乔木平均胸径 Tree mean DBH (cm)	13.6	12.8	7.8	2.6	6.4	6.2	6.8	6.7	13.2	13.0	8.2	6.7
平均树高 Tree mean height (m)	8.5	8.0	7.5	3.6	5.5	5.0	5.6	5.3	8.5	8.4	2.8	2.5
林分郁闭度 Forest canopy density (%)	90	90	95	30	99	99	99	99	80	80	35	35

T1：桉树林下养禽；T2：桉树林下养食用菌；T3：麻竹林下养禽；T4：麻竹林下养食用菌；T5：马尾松林下养畜；T6：黄葛树林下种草；CK 为各模式的纯林地。下同。SL：沙壤土；ML：中壤土；LL：轻壤土。N：北；NW：西北。T1: poultry feeding in *Eucalyptus robusta* froest; T2: fungi cultivation in *E. robusta* forest; T3: poultry feeding in *Dendrocalamus latiflorus* forest; T4: fungi cultivation in *D. latiflorus* forest; T5: livestock feeding in *Pinus massoniana* forest; T6: grass cultivation in *Ficus lacor* forest; CK: corresponding pure forest of the under-forest economy mode. The same below. SL: sandy loam; ML: medium loam; LL: light loam. N: north; NW: northwest.

1.3　数据处理

选用重要值(P)[16]、丰富度指数(S)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')[15]、Pielou 均匀度指数(J_w)[17]、Alatalo 优势度指数(E_a) [17]、相似性指数 Jaccard(C_j)及 Sorenson(C_s)[18−19]和多样性阈值(D_v)研究 6 种经济模式植物多样性，计算方法见下式。植物物种多样性阈值的分级评价标准见表 2。

$$H'=\sum P_i \ln P_i \tag{1}$$

$$J_w=H'/\ln S \tag{2}$$

$$E_a=(1/\sum P_i^2-1)/[\exp(-\sum P_i \ln P_i)-1] \tag{3}$$

$$C_j=j/(a+b-j) \tag{4}$$

$$C_s=2j/(a+b) \tag{5}$$

$$D_v=H'/J_w \tag{6}$$

式中：P_i 为第 i 种的重要值，S 为样地中物种总数，j 为 2 个群落或样地共有种数，a 和 b 分别为样地 A 和样地 B 的物种数。

数据处理和统计分析在 SPSS 18.0、origin 9.2.0 及 Microsoft Excel 2003 等软件中进行，采用单因素方差分析法(LSD)比较不同数据组间的差异水平。

表 2　植物物种多样性阈值的分级评价标准[20]

Table 2　Evaluation criteria for threshold of plant species diversity[20]

评价等级 Grade	V	Ⅳ	III	II	I
物种多样性阈值 Threshold of plant species divesity (D_v)	<0.6	0.6~1.5	1.6~2.5	2.6~3.5	>3.5
等级描述 Description	差 Poor	一般 General	较好 Well	丰富 Rich	非常丰富 Very rich

2　结果与分析

2.1　不同林下经济模式调查样地的植物种类组成

6 种林下经济模式样地中，共记录到草本植物 19 科 33 属 33 种，蕨类 2 科 2 属 2 种，苔藓 1 科 1 属 1 种，被子植物 16 科 30 属 30 种。单独种科 27 种，2 种科 4 种，6 种科 2 种。种类较多的科分别为禾本科(Gramineae)6 种，菊科(Compositae)6 种，其次

是豆科(Leguminosae)2 种，蔷薇科(Rosaceae)2 种，茄科(Solanaceae)2 种及伞形科(Umbelliferae)2 种；19 种植物分属不同科不同属。不同林下经济模式草本植物组成差异较大，种类最多的 T6-CK 由 8 科组成，分别为苋科(Amaranthaceae)、茄科、伞形科、菊科、豆科、爵床科(Acanthaceae)、荨麻科(Urticaceae)及苔藓植物，而最少为仅由 2 个科组成的 T3、T3-CK、T4 及 T4-CK。

群落中偶见种较多，个体数只有 1 株的种有车前草(*Plantago asiatica*)、囊瓣芹(*Pternopetalum davidii*)、葛藤(*Pueraria lobata*)、铁角蕨(*Asplenium trichomanes*)、野菊(*Chrysanthemum indicum*)和泽漆(*Euphorbia helioscopia*)；个体数为 2 株的种有马蹄金(*Dichondra repens*)、井栏边草(*Pteris multifida*)、龙须草(*Juncus offusus*)、龙葵(*Solanum nigrum*)、雾水葛(*Pouzolzia zeylanica*)、蒲儿根(*Sinosenecio oldhamianus*)、窃衣(*Torilis scabra*)、观音草(*Peristrophe baphica*)和三脉紫菀(*Aster ageratoides*)。

2.2　不同林下经济模式各群落重要值比较

重要值能显示不同植物在群落中的作用和地位[21]。本研究中 6 种模式下均无灌木层，草本层为该群落的优势层，对群落的稳定、结构和功能的复杂性起重要作用。6 种林下经济模式中草本层重要值前 2 位的物种见表 3。

表 3　不同林下经济模式下植物群落中重要值前 2 位的植物种

Table 3　Plant species with the top 2 importance values in each vegetation community in different under-forest economy modes

模式 Mode	种名 Specific name	重要值(*P*) Importance value (%)	模式 Mode	种名 Specific name	重要值(*P*) Importance value (%)
T1	空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides*	67.16	T1-CK	燕麦草 *Arrhenatherum elatius*	40.63
	酢浆草 *Oxalis corniculata*	11.37		飞蓬 *Erigeron speciosus*	30.58
T2	空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides*	71.00	T2-CK	白茅 *Imperata cylindrica*	63.16
	飞蓬 *Erigeron speciosus*	18.22		飞蓬 *Erigeron speciosus*	22.00
T3	桑树 *Morus alba*	74.91	T3-CK	紫萼路边青 *Geum rivale*	85.19
	紫萼路边青 *Geum rivale*	25.09		桑树 *Morus alba*	14.81
T4	桑树 *Morus alba*	72.82	T4-CK	桑树 *Morus alba*	69.26
	牛筋草 *Eleusine indica*	27.18		牛筋草 *Eleusine indica*	30.74
T5	竹叶草 *Oplismensus compositus*	54.10	T5-CK	白茅 *Imperata cylindrica*	33.31
	飞蓬 *Erigeron speciosus*	23.51		茶树 *Camellia sinensis*	20.23
T6	牛鞭草 *Hemarthria sibirica*	59.51	T6-CK	空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides*	39.37
	苦艾 *Artemisia absinihium*	9.11		鱼鳅串 *Kalimeris indica*	24.64

由表 3 可知，T3、T3-CK、T4 和 T4-CK 草本仅由 2 种组成，且重要值总和达 100%，原因是麻竹林密度均大于桉树林、马尾松林及黄葛树林，且郁闭度最高，光照弱不利于草本植物种子萌发。T1、T1-CK、T2 和 T2-CK，重要值前 2 位的物种重要值总和分别为 78.53%、71.21%、89.22%和 86.16%。重要值前 2 位物种重要值总和最小的是 T5、T5-CK、T6 和 T6-CK，其中 T5-CK 重要值前 2 位总和仅为 53.54%。在 6 种模式中，入侵物种空心莲子草占据了 T1、T2 草本层的优势地位，重要值最大，分别为 67.16%和 71.00%，其原因是空心莲子草形态上分枝较多，形成的网络空间构型阻碍了其他植物的光合作用，增强自身对资源的充分利用，繁殖率高、扩展速度快，加之人和禽类活动扩宽了空心莲子草种子的传播范围等使其对生境的适应能力更强[22]，说明经营模式改变了植物群落的优势种。桑树成为 T3、T4 的优势种，重要值高达 74.91%和 72.82%，主要原因可能是麻竹林郁闭度高，透光率低，同时林禽和林菌模式下动物和人类活动频繁，不利于草本生长，而存活下来的桑树耐瘠薄耐贫瘠、适用性强，且对土壤要求不高；T5、T6 模式的优势种分别是重要值为 54.10%的竹叶草和 59.51%的牛鞭草。

2.3　不同林下经济模式植物群落的植物多样性比较

物种多样性是生境中物种丰富度及分布均匀性的一个量度，用来判断群落或生态系统的稳定性指标，物种多样性越大，群落稳定性越强，生境也越适应于群落生存[23]。各经济模式植物群落的丰富度、多样性指数、均匀度指数及优势度指数见表 4。

由表 4 可知，从不同林下经济模式组与对照组的比较来看，对照组丰富度指数均大于或等于林下经济模式组，T1、T2、T5 和 T6 与相应的对照组间差异显著，说明不同林下经济模式一定程度上减少了物种种类；在不同林下经济模式中，丰富度指数依次为 T6>T1>T5=T2>T3=T4，T6 植物丰富度最大，为

表 4 不同林下经济模式植物群落的植物多样性指数
Table 4 Plant diversity indexes of plant communities in different under-forest economy modes

模式 Mode	丰富度指数(*S*) Richness index	Shannon-Wiener 多样性指数(*H'*) Shannon-Wiener diversity index	Pielou 均匀度指数(J_w) Pielou's evenness index	Alatalo 优势度指数(E_a) Alatalo dominance index
T1	6	1.114±0.003e	0.572±0.002c	0.533±0.027b
T1-CK	7	1.449±0.008D	0.697±0.004D	0.753±0.112D
T2	3	0.794±0.018c	0.572±0.013c	0.679±0.095c
T2-CK	4	1.009±0.006C	0.627±0.004C	0.678±0.042C
T3	2	0.563±0.015a	0.513±0.013a	0.786±0.173d
T3-CK	2	0.420±0.032A	0.382±0.029A	0.648±0.231B
T4	2	0.585±0.015b	0.533±0.014b	0.824±0.179e
T4-CK	2	0.617±0.014B	0.562±0.013B	0.869±0.202E
T5	3	1.008±0.010d	0.727±0.007e	0.869±0.121f
T5-CK	6	1.650±0.042E	0.848±0.022F	0.873±0.190F
T6	11	1.527±0.001f	0.614±0.001d	0.458±0.006a
T6-CK	13	1.914±0.001F	0.725±0.001E	0.580±0.010A

同列不同小写字母表示林经济模式间差异显著($P<0.05$)，同列不同大写字母表示林下经济模式与相应的 CK 间差异显著($P<0.05$)。下同。
Different small letters within the same column mean significant difference among different mods ($P < 0.05$). Different capital letters within the same column mean significant difference between under-forest economy mode and the corresponding control (CK).

11, T3 和 T4 最小，均为 2，说明林草模式对植物破坏较小，原因是种草模式下人为干扰及其造成的生境改变较小。由 *H'*多样性指数得出除 T3 模式外其余 5 种林下经济模式植物群落物种多样性均表现出：林下经济模式组小于对照组，不同林下经济模式 *H'*多样性指数依次为 T6>T1>T5>T2>T4>T3，且不同林下经济模式差异显著，T6 植物多样性值最大，为 1.527，T3 最小，为 0.563，说明 T3 物种种群个体优势明显。6 种林下经济模式 J_w 均匀度指数除 T3 外其余 5 个模式均呈现林下经济模式组小于对照组，其中 T1 与 T2 差异不显著，但与 T3、T4、T5 和 T6 差异显著，且大小格局依次为 T5>T6>T2=T1>T4>T3，说明 T5 物种分布最均匀。Alatalo 优势度指数在 T5 模式下最大，在 T6 处理下最小，除 T2 和 T3 外其余 4 个模式优势度均表现出：林下经济模式组小于对照组，在 T2 和 T3 中表现出林下经济模式组大于对照组，群落优势度高说明群落中只存在少数的优势种，而植物优势种类最多的 T6 模式群落优势度最低。

2.4 林下经济模式与纯林地林下植物群落组成的相似性

由于不同林下经济模式中林分差异较大，所以只比较了林下经济模式和相应对照之间的相似性。由图 1 可知，模式 T3 和 T4 的 C_j 和 C_s 相似度指数最高，达 1.0，林下经济模式下麻竹林下植物种类没有发生任何变化，这一结果与麻竹林株行距小、林下形成的小环境气候相似等原因有直接关系。其次是 T6 模式，C_j 相似性指数为 0.44，C_s 相似性指数为 0.62；T1 相似性指数最低，C_j 和 C_s 相似性指数分别为 0.15 和 0.27。

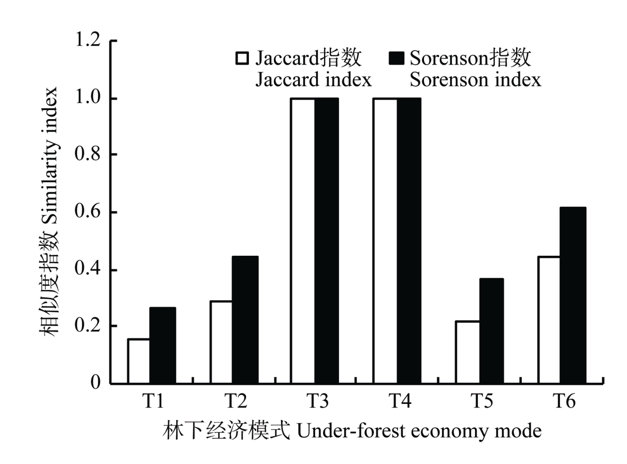


图 1 不同林下经济模式下植物群落组成与相应纯林的物种组成相似性
Fig. 1 Similarity of species composition between different under-forest economy modes and their corresponding pure forest modes

2.5 不同林下经济模式植物的多样性评估

不同林下经济模式植物的多样性阈值见表 5。由表 5 可以看出，除 T3、T4 外其余模式植物群落多样性阈值均表现为：林下经济模式组小于对照组，说明林下经济模式一定程度上降低了植物多样性。不同林下经济模式间多样性阈值最大的是 T6，多样性阈值为 2.4；其次是 T1，为 1.8；再次是 T2 和 T5，为 1.1；T3 和 T4 最小，多样性阈值均为 0.7。由表 2 植物物种多样性阈值的分级评价标准可知，T6 属于 III级，说明黄葛树林下种草物种多样性较好；T3 和

表 5　不同林下经济模式下植物群落的物种多样性阈值
Table 5　Thresholds of plant species diversity in different under-forest economy modes

模式 Mode	T1	T1-CK	T2	T2-CK	T3	T3-CK	T4	T4-CK	T5	T5-CK	T6	T6-CK
物种多样性阈值(D_v) Threshold of plant species diversity	1.8	2.0	1.1	1.4	0.7	0.7	0.7	0.7	1.1	1.8	2.4	2.6

T4 属于Ⅳ级，说明麻竹林下养食用菌和麻竹林下养禽植物多样性一般，原因是林下种草对植物破坏小，相反还增加了林下植物的种类，而林下养殖除了人为干扰外，还有动物对草本植物的采食，因此造成 T6 模式下物种多样性较其他模式好。

3　结论与讨论

林下植物群落多样性受人类活动的影响相对较大，影响结果与环境条件、人为干扰方式以及林下种养的物种类型和密度等密切相关[24−25]。对西南山地 6 种林下经济模式的调查结果表明，不同林下经济模式与对照组之间物种组成差异明显，繁殖快、耐贫瘠的植物取代原有优势种。在林下进行种养殖后，林下植物丰富度降低，原因在于林下种养殖人为干扰及其造成的生境改变较大，加之禽畜类对林下植被进行破坏或采食，导致某些植物种类和数量大量减少。在 6 种林下经济模式中植物丰富度指数最好的是林草模式，主要由于种草模式下外界干扰小，种草丰富了植物种类且对林下植被破坏较小，因此丰富度最好。曾河水[26]在研究种草对马尾松(*Pinus massoniana*)林地植被多样性影响的试验中也得出了相似的结论。

植物丰富度虽是衡量植物种多样性的指标之一，但不能充分反映出群落中植物相对多度的信息，而物种多样性指数是将植物物种数、个体数、个体高度、分布特性等植被信息综合起来的一个统计量，能较为准确地反映植物群落中植物物种的变化程度及均匀性。除 T3 模式外其余 5 种林下经济模式植物群落多样性指数 H'和均匀度指数 J_w 均表现出林下经济模式小于对照组，说明人为干扰使植物多样性减少，均匀度降低，这与邬枭楠等[8]、尹锴等[9]的研究结果一致，但与于立忠等[10]、谢伟东等[11]的研究相异，原因可能是调查对象对环境干扰的承受强度刚好处于导致植物多样性降低的水平，同时才登巴·金保等[27]在研究林下养鸡对林木草地的影响时还发现合理轮牧放养会增加草地生产力、植物种类、数量和高度。此外，植物多样性还与植被类型有关系，各对照组丰富度指数 S、多样性指数 H'、均匀度指数 J_w 和优势度指数 E_a 均差异显著($P<0.05$)。S 和 H'最高的是黄葛树林，最低的为麻竹林，而 J_w 和 E_a 最高的是马尾松林，而 J_w 最低为麻竹林，E_a 最低为黄葛树林，植被类型不同林下植物组成有差异，说明植被类型一定程度上改变了草本群落植物多样性。麻竹林下植物丰富度为 2，林下经济模式与纯林对照的植物组成相似性系数为 1.0，说明该林地的物种组成没有发生变化。其余 4 种林下经济模式与纯林对照的物种组成相似性系数均相对较低，说明各模式之间的物种组成差异较大，原因在于麻竹林郁闭度高，林下植被稀疏，光照强度低，植物难以生长。由植物多样性阈值评价结果显示：黄葛树林下种草多样性阈值最高，属于多样性较好类型，而麻竹林下养食用菌和麻竹林下养禽多样性阈值最低，属于一般类型。林下种养殖业推动种群变化[28]，发展过程中适度的人为干扰，可能使一些喜光植物入侵，从而增加林下植物物种的多样性，有利于促进和维持林下生态系统的平衡与稳定，推动林下生态系统的演替[29]。

对于不同林下经营模式，就多样性维持方面而言，对照组草本层多样性优于林下经济模式组。桉树林、麻竹林、马尾松林和黄葛树林等在进行林下开发利用时，应生态效益优先，兼顾经济效益，同时辅以适当的抚育间伐，这不仅对保存地方特有种及濒危种具有重要作用，且有利于林分结构的改造和森林健康。在林下进行种养殖时，应选择合适的林下经济模式，林草模式对林下植物多样性破坏最小，可尽量考虑在林下种草或者种植其他植物；若要在林下进行养殖，则应将种养殖密度维持在林地的最优生态承受范围内，采取适量、适度、合理的原则，适度调整林下菌物资源或动物资源的种间关系，以此获得比较理想的生态与经济效益，确保林地可持续发展。本文比较了不同林下经济模式对植物多样性的影响，并未涉及种养殖密度梯度对植物多样性的影响，因此，笔者建议在今后的研究中，应当增加各经济模式林下种养殖强度调查这一项，以进一步明确林下种养殖的最优种养殖范围，为农村山地林下经济的更好发展与林下植物多样性保育工作提供一定的理论参考。

参考文献　References

[1] 徐卓，刘芸，尹小华，等. 西南喀斯特山地林下经济发展模

式研究[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2012, 37(11): 59–65
Xu Z, Liu Y, Yin X H, et al. Studies on the mode of under-forestry economy in the mountainous region of karst, Southwest China[J]. Journal of Southwest China Normal University: Natural Science Edition, 2012, 37(11): 59–65
[2] 王江丽, 白涛, 吴晓磊, 等. 农林复合生态系统防护林结构对植物生物多样性的影响[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(1): 50–54
Wang J L, Bai T, Wu X L, et al. Effects of windbreak belt structure in agroforestry on plant biodiversity[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2008, 39(1): 50–54
[3] 岳天祥. 生物多样性研究及其问题[J]. 生态学报, 2001, 21(3): 462–467
Yue T X. Studies and questions of biological diversity[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(3): 462–467
[4] 马守臣, 原东方, 杨慎骄, 等. 豫北低山丘陵区农田边界系统植物多样性的研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 815−819
Ma S C, Yuan D F, Yang S J, et al. Plant diversity in field margin systems in the hilly regions of northern Henan[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(4): 815−819
[5] 赵荣, 陈绍志, 张英, 等. 发展林下经济对产业、民生和生态的影响研究[J]. 林业经济, 2015(6): 7–9
Zhao R, Chen S Z, Zhang Y, et al. The impacts of developing under-forest economy on industries, people's livelihood and ecology[J]. Forestry Economics, 2015(6): 7–9
[6] Hervé B B D, Vidal S. Plant biodiversity and vegetation structure in traditional cocoa forest gardens in southern Cameroon under different management[J]. Biodiversity and Conservation, 2008, 17(8): 1821–1835
[7] Nagaike T, Kamitani T, Nakashizuka T. Effects of different forest management systems on plant species diversity in a *Fagus crenata* forested landscape of central Japan[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2005, 35(12): 2832–2840
[8] 邬枭楠, 缪金莉, 郑颖, 等. 林下养鸡对生物多样性的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2013, 30(5): 689–697
Wu X N, Miao J L, Zheng Y, et al. Forest floor fed chickens and biodiversity[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2013, 30(5): 689–697
[9] 尹锴, 崔胜辉, 赵千钧, 等. 基于冗余分析的城市森林林下层植物多样性预测[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 6085–6094
Yin K, Cui S H, Zhao Q J, et al. Understory diversity prediction of urban forest based on the redundancy analysis (RDA)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 6085–6094
[10] 于立忠, 朱教君, 孔祥文, 等. 人为干扰(间伐)对红松人工林林下植物多样性的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3757–3764
Yu L Z, Zhu J J, Kong X W, et al. The effects of anthropogenic disturbances (thinning) on plant species diversity of *Pinus koreansis* plantations[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(11): 3757–3764
[11] 谢伟东, 招礼军, 邓荣艳, 等. 干扰对红鳞蒲桃群落植物多样性及重要值的影响[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2011, 33(6): 58–63
Xie W D, Zhao L J, Deng R Y, et al. Influence of human disturbance on plant diversity and importance value of *Syzygium hancei* communities[J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2011, 33(6): 58–63
[12] 秦华军, 何丙辉, 赵旋池, 等. 西南喀斯特山地林下经济模式对土壤渗透性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(11): 1386–1394
Qin H J, He B H, Zhao X C, et al. Influence of karst mountain under-forest economy modes on soil infiltration in southwest China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(11): 1386–1394
[13] 秦华军, 何丙辉, 赵旋池, 等. 西南山地林下经济模式对土壤养分和土壤微生物数量的影响[J]. 水土保持通报, 2014, 34(1): 113–117
Qin H J, He B H, Zhao X C, et al. Influences of under-forest economy mode on soil nutrients and microbe quantity[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2014, 34(1): 113–117
[14] 秦华军, 何丙辉, 赵旋池, 等. 西南喀斯特山区寿竹林地土壤微生物量与酶活性在不同坡位和剖面层次的分布特征[J]. 环境科学, 2014, 35(9): 3580–3586
Qin H J, He B H, Zhao X C, et al. Influence of different slope position and profile in *Disporopsis pernyi* forest land on soil microbial biomass and enzyme activity in southwest karst mountain of China[J]. Environmental Science, 2014, 35(9): 3580–3586
[15] 彭少麟, 周厚诚, 陈天杏, 等. 广东森林群落的组成结构数量特征[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 13(1): 10–17
Peng S L, Zhou H C, Chen T X, et al. The quantitative characters of organization of forest communities in Guangdong[J]. Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinice, 1989, 13(1): 10–17
[16] 祝存冠, 陈桂琛, 周国英, 等. 青海湖区河谷灌丛草地植被群落多样性研究[J]. 草业科学, 2007, 24(3): 31–35
Zhu C G, Chen G C, Zhou G Y, et al. Study on plant community diversity in valley shrub grassland of Qinghai Lake Region[J]. Pratacultural Science, 2007, 24(3): 31–35
[17] Peet R K. The measurement of species diversity[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1974, 5: 285–307
[18] Zapfack L, Engwald S, Sonke B, et al. The impact of land conversion on plant biodiversity in the forest zone of Cameroon[J]. Biodiversity & Conservation, 2002, 11(11): 2047–2061
[19] 陶玲, 任珺. 进化生态学的数量研究方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 38–44
Tao L, Ren J. Quantitative Research Methods of Evolutionary Ecology[M]. Beijing: China Forestry Press, 2004: 38–44
[20] 蔡燕红. 杭州湾浮游植物生物多样性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006
Cai Y H. The diversity of marine phytoplankton in Hangzhou Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006
[21] 王伯荪. 植物群落学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987: 14–76
Wang B S. Phytocoenology[M]. Beijing: Higher Education

Press, 1987: 14–76

[22] 翁伯琦, 林嵩, 王义祥. 空心莲子草在我国的适应性及入侵机制[J]. 生态学报, 2006, 26(7): 2373–2381
Weng B Q, Lin S, Wang Y X. Discussion on adaptability and invasion mechanisms of *Alternanthera philoxeroides* in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7): 2373–2381

[23] 陈志辉, 王克林, 陈洪松, 等. 喀斯特环境移民迁出区植物多样性研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 723–727
Chen Z H, Wang K L, Chen H S, et al. Plant diversity during natural recovery process of vegetation in karst environmental emigrant areas[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(3): 723–727

[24] 罗菊春, 王庆锁, 牟长城, 等. 干扰对天然红松林植物多样性的影响[J]. 林业科学, 1997, 33(6): 498–503
Luo J C, Wang Q S, Mu C C, et al. Plant diversity of *Pinus koraiensis* forests under disturbance in Changbai Mountains of China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 1997, 33(6): 498–503

[25] 汪诗平. 不同放牧季节绵羊的食性及食物多样性与草地植物多样性间的关系[J]. 生态学报, 2000, 20(6): 951–957
Wang S P. The dietary composition of fine wool sheep and plant diversity in inner Mongolia steppe [J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(6): 951–957

[26] 曾河水. 种草对马尾 2012 年 8—9 月松林地植被多样性的影响[J]. 中国水土保持, 2003(1): 26–27
Zeng H S. Influence of planting grasses on vegetation diversity of Masson pine trees area[J]. Soil and Water Conservation in China, 2003(1): 26–27

[27] 才登巴·金保, 张勇娟, 冯立涛. 林下养鸡对林木草地的影响[J]. 当代畜牧, 2014,27: 82–83
Jinbao C D B, Zhang Y J, Feng L T. The influence of chickens on plant grass under forests[J]. Contemporary Animal Husbandry, 2014, 27: 82–83

[28] Aubert M, Alard D, Bureau F. Diversity of plant assemblages in managed temperate forests: A case study in Normandy (France)[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 175(1/3): 321–337

[29] 龚固堂, 牛牧, 慕长龙, 等. 间伐强度对柏木人工林生长及林下植物的影响[J]. 林业科学, 2015, 51(4): 8–15
Gong G T, Niu M, Mu C L, et al. Impacts of different thinning intensities on growth of *Cupressus funebris* plantation and understory plants[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2015, 51(4): 8–15